无关工作记忆表征的负性情绪信息能否捕获视觉注意？一项眼动研究*

黄月胜[1]　张　豹[2]　范兴华[1]　黄　杰[1]

（[1]湖南第一师范学院教育科学学院/儿童心理发育与脑认知科学湖南省重点实验室，长沙 410205）（[2]广州大学教育学院/心理与脑科学研究中心， 广州 510006）

摘　要　研究通过分析视觉搜索任务的首次注视点和行为反应时，探讨无关工作记忆表征的负性情绪信息对视觉注意选择的影响。实验 1 发现在反映早期注意选择的首次注视点百分率指标上，不管工作记忆表征的情绪效价如何，均出现了显著的注意捕获效应；实验 2 发现当采用中性情绪靶子刺激时，首次注视点百分率指标上仍表现出了稳健的注意捕获效应；在首次注视点持续时间指标上，实验 1 和实验 2 均发现记忆匹配条件的干扰刺激显著小于控制条件的干扰刺激，表现出注意的快速脱离；而在行为反应时指标上，早期的注意捕获效应消失（实验 1），甚至被反转为注意抑制效应（实验 2）。这些结果表明在早期注意选择阶段，记忆驱动的注意捕获效应不受工作记忆表征情绪效价的影响，但认知控制会在早期注意捕获之后促使注意快速脱离记忆匹配的干扰刺激，其作用效果受靶子刺激情绪效价的调节。

关键词　认知控制；情绪工作记忆；注意捕获效应；注意抑制效应

分类号　B842.6

1　前言

从生物进化的角度来看，情绪刺激尤其是具有威胁性的负性情绪刺激（如暴力、血腥、凶猛的动物、愤怒表情等）与人类的生存紧密相连，因而会得到优先加工(Baluch & Itti, 2011; Sutherland et al., 2017)。例如，有研究者发现，负性情绪刺激会影响注意偏向，能更快地吸引注意或占用更多的注意资源，表现出负性情绪偏向效应(Nummenmaa et al., 2009; Pourtois, et al., 2006)，在降低可见度的阈下知觉条件(Nasrallah et al., 2009)或注意视盲任务的阈下注意

收稿日期：2019-10-08

* 教育部人文社会科学研究青年基金项目（15YJC190007）、湖南省重点实验室项目（2019TP032）和广州大学青年拔尖人才计划项目（BJ201720）资助。

张豹为共同第一作者。

通信作者：黄月胜，E-mail: huangys@hnfnu.edu.cn; 张豹，E-mail: bao.zhang@foxmail.com

条件下(McHugo et al., 2013)，负性情绪刺激仍然能被快速识别。研究者还发现，即使负性情绪刺激与当前任务无关，该负性情绪刺激依然会捕获注意，从而损害当前任务的加工(Gupta, et al., 2016; Padmala et al., 2018)，譬如，高唤醒负性干扰刺激（如肢解图片）在字母搜索任务(Gupta et al., 2016; Okon-Singer et al., 2007)和定向辨别任务(Erthal et al., 2005)中都表现出比中性干扰刺激更大的干扰效应。

对任务无关情绪刺激的注意偏向，研究者们主要有三种理论解释。第一种为情绪自动加工（emotion are processed automatically）的观点，该观点认为个体对情绪刺激的加工是自动化的，不会受到任务相关性与任务难度等因素的影响(Attar & Müller, 2012; Oei et al., 2012)。第二种为注意偏向竞争模型（Biased Competition Model of Attention）(Desimone & Duncan, 1995)，该理论认为无关情绪刺激要得到加工必须通过竞争获得注意资源，它所能获得的资源会随着当前任务所需资源的增加而减少，因而其对当前任务的影响也会随之减弱。这一观点得到了一些研究的支持(Erthal et al., 2005; Huang et al., 2013; Pessoa et al., 2002)。第三种是注意选择的负载理论（The Perceptual Load Theory）(Lavie, 1995, 2010)，该理论认为当前任务知觉负载的高低决定了知觉层面的选择性注意的资源分配，低知觉负载会导致注意对无关情绪刺激加工的溢出效应，高知觉负载则能消除无关情绪刺激的干扰，例如 Gupta 等(2016)发现无关情绪刺激在低知觉负载搜索任务中会干扰对靶子的搜索，而高知觉负载搜索任务中对靶子搜索的干扰则会下降。

以上理论解释及其相关的研究基本上都是围绕负性情绪刺激如何自下而上地捕获视觉注意，虽然也还有不少研究探讨情绪如何通过调控注意资源从而影响信息在工作记忆系统中的存储(Borg et al., 2011; Garrison & Schmeichel, 2019)，但较少有研究考察已进入工作记忆系统中的负性情绪信息是如何自上而下地影响视觉注意选择。存储在工作记忆系统中的信息（即工作记忆表征）对视觉注意的捕获近年来已得到大量研究的证实(见综述：Soto et al., 2008; 潘毅, 2010; 张豹, 黄赛, 2013)，被称之为记忆驱动的注意捕获(Olivers et al., 2006)。与由突显的物理刺激所诱发的刺激驱动的注意捕获(Theeuwes, 2012)不同的是，在记忆驱动的注意捕获的研究中，所有视觉搜索刺激的物理特征在知觉上是同质的，与工作记忆表征共享特征的干扰刺激对视觉注意的捕获优势来源于工作记忆表征自上而下的激活(Soto et al., 2008)。

大部分与记忆驱动的注意捕获相关的研究均采用中性刺激材料(如彩色几何图形或不规则图形)，到目前为止，仅有两项探讨情绪相关的工作记忆表征对视觉注意影响的研究。其一是 Grecucci 等(2010)采用情绪状态词（如“fearful”，“joyful”，“neutral”）作为记忆

材料，记忆保持过程中要求被试完成一个视觉搜索任务，即在左右呈现的两个面孔中判断特定性别（男或女）面孔的位置（左或右）；结果发现面孔所表达的情绪是否与记忆词匹配，对视觉搜索任务并无影响。另一研究是 Moriya 等(2014)探讨工作记忆表征的情绪信息的愤怒优势效应（anger superiority effect，即在愉快面孔中检测愤怒面孔的速度要快于在愤怒面孔中检测愉快面孔）的影响；在他们的研究中，要求被试在工作记忆的保持（记住一个不同情绪效价（愤怒或愉快）的面孔或情绪词）过程中完成一个视觉搜索任务（即判断呈现的面孔中是否包括一个不同情绪效价的面孔），结果发现对愤怒信息的工作记忆会导致愤怒优势效应减弱，但对愉快信息的工作记忆则不会影响愤怒优势效应。虽然后者的研究结果表明工作记忆表征的情绪信息会影响视觉注意选择，但都没有与中性信息的工作记忆表征进行对比，无法获知其所观察到的注意捕获效应是来源于刺激的工作记忆表征，还是来源于工作记忆表征的情绪属性。也就是说，工作记忆表征的情绪信息能否引导视觉注意，或调节记忆驱动的注意捕获，目前仍未可知。

在现实生活中，人们在经历不愉快事件之后通常会体验到打破他们内心平静的闯入记忆(van Schie & Anderson, 2017)。闯入记忆是一种与负性情绪相联系、具有感知特征的、不想要的记忆(Kvavilashvili, 2014)，它是许多临床障碍群体，如创伤后应激障碍(Catarino et al., 2015)、抑郁(Joormann et al., 2009)、沉思(Fawcett et al., 2015)、焦虑(Marzi et al., 2014)的共同症状特征及产生负性情绪偏向的主要原因之一。因此探讨无关工作记忆表征的情绪信息对视觉注意的捕获，对理解情绪障碍个体的负性情绪注意偏向具有重要的临床启示意义。

因此，本研究在记忆驱动的注意捕获研究的经典双任务范式(Soto et al., 2005)基础上，以情绪场景图片为刺激材料，来探讨无关工作记忆表征的负性情绪信息对视觉注意选择的影响。此外，以往研究表明，反应时作为一系列认知加工之后的行为输出结果，容易受到认知控制因素的影响，从而会掩盖甚至改变视觉搜索早期阶段所观察到的注意捕获效应，而首次注视点百分率可以较为敏感的检测到视觉搜索早期阶段工作记忆表征对视觉注意的捕获(Bahle et al., 2018; Zhang et al., 2018; 张豹等, 2016)。因此，本研究将采用眼动追踪技术，结合运用首次注视点和行为反应时指标，用来比较在视觉搜索的早期注意选择阶段与反应阶段所观察到的注意捕获效应的差异。

实验 1 通过操纵工作记忆任务的情绪效价，比较无关负性与无关中性情绪刺激的工作记忆表征对视觉注意捕获的影响。实验 2 将靶子刺激设置为中性情绪刺激，以消除视觉搜索任务靶子的情绪属性对结果的影响，进一步探讨无关工作记忆表征的负性情绪信息对视觉注

意选择的影响机制。在实验 2 中，控制条件下干扰刺激为不与工作记忆表征匹配的负性情绪刺激，其对视觉注意的捕获发生在知觉层面；而在记忆匹配条件下，干扰刺激为与工作记忆表征匹配的负性情绪刺激，其对视觉注意的捕获发生在工作记忆层面。因此，实验 2 还可以用于比较知觉层面与工作记忆层面的负性情绪刺激对视觉注意捕获的差异。根据以往研究结果，本研究假设：（1）在知觉层面（即刺激驱动的注意捕获），负性情绪刺激会比中性情绪刺激具有更强的注意捕获能力，表现为当视觉搜索中不出现与工作记忆表征匹配的刺激时，干扰刺激为负性情绪刺激条件下所捕获的首次注视点显著大于干扰刺激为中性情绪刺激条件，前者的反应时也显著大于后者。（2）在工作记忆层面（即记忆驱动的注意捕获），如果负性情绪信息的工作记忆表征能增强对视觉注意的捕获能力，那么与工作记忆表征匹配的干扰刺激为负性情绪刺激时对注意的捕获效应显著大于其为中性情绪刺激条件。（3）由于本研究中与工作记忆匹配的情绪刺激只作为视觉搜索任务的干扰刺激，根据 Woodman 和 Luck(2007)，Han 和 Kim(2009)及张豹等(2016)的研究结果，认知控制可能会使视觉注意策略性地偏离与工作记忆匹配的干扰刺激以提高视觉搜索效率，从而在容易被认知控制影响的反应时指标上可能出现注意捕获效应的消失或甚至出现注意抑制效应。

2 实验 1

2.1 方法

2.1.1 被试

采用 G*Power 3.1.9.2 (Faul et al., 2007)估计计划样本量（$\alpha = 0.05$，$1-\beta = 0.80$），如果要在两因素重复测量的实验设计中观察到交互作用，参考张豹等(2017) 四个实验中的结果，首次注视点百分率与反应时指标上交互作用显著时，η_p^2 最低值为 0.21，最少计划样本量只需要 7 人。但考虑到研究变量的差异以及结果的稳定性，实验 1 按中等效果量(effect size f = 0.25, Faul et al., 2007)为标准计算计划样本量，结果为 24 人。在实验 1 中，实际样本量为 24 名（男女生各 12 名，年龄 18～21 岁，平均年龄 19.17 ± 0.87 岁）在校大学生，所有被试均为右利手，视力或矫正视力正常，无色盲或色弱，身体健康，无精神病史，此前未参加过类似实验。

由于本研究考察情绪并使用情绪场景图片作为刺激材料，故采用状态特质焦虑问卷（STAI）(汪向东等, 1999)和贝克抑郁量表第 2 版（BDI-II）(杨文辉等, 2012)对被试进行筛查，所有被试状态焦虑、特质焦虑、抑郁得分的标准分数均控制在 1.96 以下，以排除高焦虑或高抑郁个体。实验 1 所有被试在三个量表上得分的标准分数介于–0.94～1.26、–1.18～

1.54、–1.20～1.34 之间。实验前签署知情同意书，实验后给予一定报酬。

2.1.2 实验仪器

用 EyeLink 1000 Plus 桌面式眼动仪（SR Research Ltd., Mississauga, Ontario, Canada）采集眼动数据，采样频率 1000Hz。刺激呈现在 19 英寸 LCD 显示器上（分辨率为 1024×768，刷新频率为 75Hz），屏幕背景为灰色，实验进行过程中被试下颌放在颌托上以控制头动，被试眼睛距离屏幕中央约 57cm。程序采用 E-Prime1.1 编程与运行。

2.1.3 实验材料

从国际情绪图片系统（International Affective Picture System, IAPS）(Lang et al., 2008)和中国情绪图片系统（Chinese Affective Picture System ,CAPS）(白露等, 2005)中选用负性和中性情绪场景图片。负性图片为令人恐惧的动物、人类的攻击行为、身体残缺或灾难事件等场景，中性图片为描述动物或人活动的中性场景。图片筛选流程为：（1）图片初选：由两位教师在 CAPS 和 IAPS 中初选负性情绪图片 238 张、中性情绪图片 206 张。所有图片大小 10.25°×8.04°视角。（2）情绪评定：由 8 名大学生（男生 3 名，女生 5 名，平均年龄 19.88±1.81 岁）对初选图片的效价（1：非常不愉快；9：非常愉快）、唤醒度（1：非常平静；9：非常兴奋）和动机程度（1：非常想远离；9：非常想靠近）进行 9 点量表评定，并计算每张图片每个维度的平均评分。三个维度评分者信度（Kendall's W）介于 0.67～0.69 之间，$\chi^2(443)$值介于 2367.54～2455.70 之间，$ps < 0.001$。（3）图片分类：为保证实验程序中所呈现的图片在情绪的效价、唤醒度、动机程度三个维度上的平衡以及出现频次的平衡，选取中性与负性情绪图片各 156 张用于正式实验，并根据实验设计的需求将之分为“记忆刺激”（72 张）、“干扰刺激”（24 张）、“靶子刺激”（48 张）和“记忆探测新刺激”（12 张）四个类别，且类别间各情绪维度的评定分数予以匹配(见表 1，袁加锦等, 2014)。

表 1 实验 1 各类别图片的情绪维度评分（*M*± *SD*）及差异检验

情绪维度		记忆刺激	干扰刺激	靶子刺激	记忆探测新刺激	*F* 值	*p*
负性	效价	2.65±0.42	2.64±0.47	2.59±0.48	2.59±0.44	0.23	0.87
	唤醒度	5.49±0.46	5.54±0.40	5.61±0.41	5.63±0.45	0.89	0.45
	动机程度	3.62±0.62	3.58±0.57	3.47±0.62	3.44±0.78	0.77	0.51
中性	效价	5.20±0.39	5.11±0.36	5.13±0.39	5.24±0.47	0.71	0.55
	唤醒度	3.45±0.38	3.35±0.37	3.40±0.41	3.16±0.46	1.91	0.13
	动机程度	5.00±0.62	5.02±0.61	4.93±0.65	4.98±0.63	0.16	0.93

根据所呈现图片刺激的效价，实验包括两种情绪区组类型：中性情绪区组中所有图片皆为中性情绪图片，负性情绪区组中所有图片皆为负性情绪图片。在记忆任务与记忆探测任务

中，每次在屏幕中央呈现一张图片，记忆图片随机选自于“记忆刺激”类别，记忆探测图片或与同试次的记忆图片相同（“是”反应），或随机选自于“记忆探测新刺激”类别（“否”反应）。视觉搜索任务中，在中央注视点左右 2.2°视角处各呈现一张彼此不同的图片，每张图片外围都有一个黑色边框（线条宽度为 0.1°视角），边框左右各有一个开口。其中靶子刺激图片的边框开口宽度不同，分别为 0.7°视角和 0.45°视角，干扰刺激图片的边框左右开口宽度相同，均为 0.45°视角。靶子刺激的图片随机选自于“靶子刺激”类别，而干扰刺激的图片根据实验中设置的匹配类型（自变量），在记忆匹配条件下与记忆图片相同，而控制条件下则随机选自于“干扰刺激”类别。

2.1.4 实验程序

实验程序如图 1 所示，每个试次开始时在屏幕中央呈现一个小圆点用于漂移校正，被试需盯住小圆点，当眼动仪检测到被试的注视点与小圆点重合超过 1000ms 时，主试立即按空格键启动记忆任务。记忆刺激呈现 1000 ms 后，屏幕中央呈现一个红色注视点“+” 750 ms，接下来随机呈现视觉搜索任务或记忆探测任务。当任务为视觉搜索任务时，要求被试在 3000ms 内快速搜索靶子刺激图片，并又快又准地按键判断外围边框开口较大的一侧的朝向（左侧按“F”键，右侧按“J”键，两种反应的试次数量相同，且随机出现）；当任务为记忆探测任务时，要求被试尽可能正确地判断屏幕中央所呈现图片是否与记忆刺激相同（“是”反应按“F”键，“否”反应按“J”键，两种反应的试次数量相同，且随机出现），反应时间不受限制。当程序检测到被试反应或超出最大时间限制时，自动进入下一个试次。

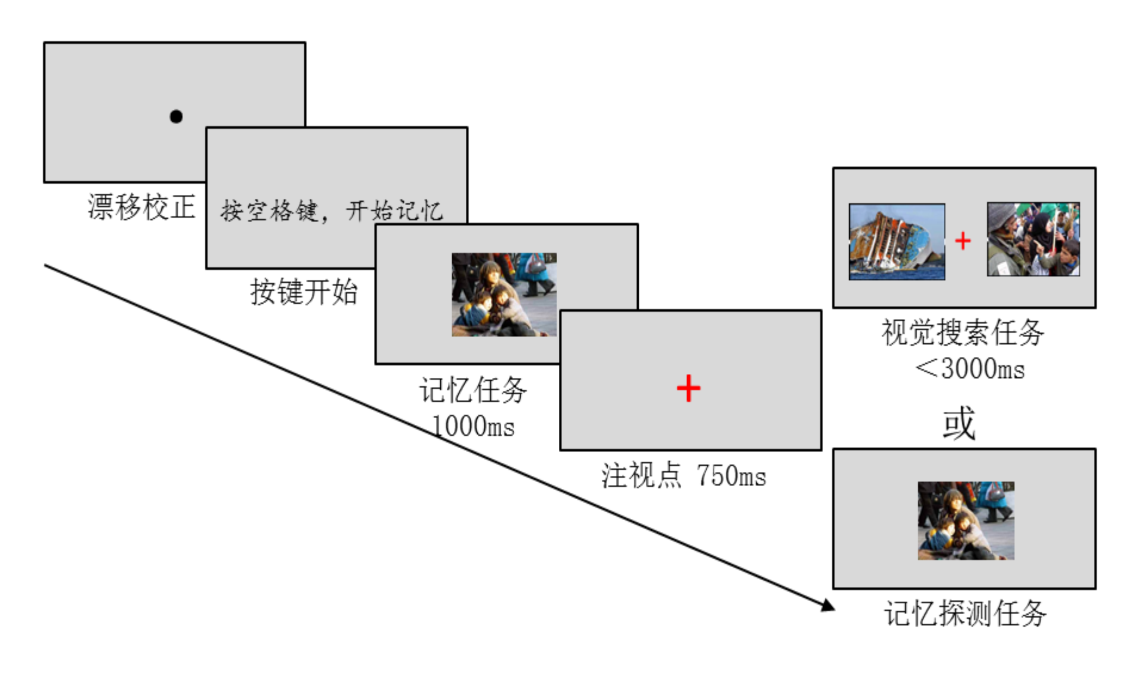


图 1 实验流程图

实验中为了防止被试在视觉搜索过程中策略性地偏向记忆匹配刺激，首先在指导语中明确告之“记忆刺激可能会在视觉搜索任务中出现，但不可能作为搜索靶子”以提醒被试注意偏向记忆匹配刺激并不会促进视觉搜索效率。其次在记忆刺激之后，只随机呈现视觉搜索任务或记忆探测任务，从而消除被试为获得更好的记忆成绩而在视觉搜索任务中有意偏向记忆匹配刺激进行复述(Dowd et al., 2015; 张豹等, 2017)。

实验 1 的实验设计为 2（区组类型：负性情绪区组/中性情绪区组）×2（匹配类型：记忆匹配条件/控制条件）两因素被试内设计。记忆匹配条件下，记忆任务中的图片在视觉搜索任务中作为干扰刺激再次出现；控制条件下，记忆任务中的图片不再出现在视觉搜索任务中。为了避免负性/中性情绪区组的试次混合呈现可能产生的情绪遗留效应，正式实验设置为 2 个负性情绪区组与 2 个中性情绪区组，区组呈现顺序在被试间采用 ABBA 予以平衡。每个区组由 24 个只呈现记忆探测任务的试次和 48 个呈现视觉搜索任务（记忆匹配条件与控制条件各半）的试次随机混合而成。每个组块结束后被试休息 5 分钟，正式实验之前有 24 个练习试次以便被试熟悉实验程序及要求。

采用眼动仪同步记录被试右眼在视觉搜索任务过程中的眼动轨迹。实验开始或被试休息之后都采用 9 点矩阵进行校准。视觉搜索任务前要求被试将眼睛保持在红色注视点“+”位置（可接受范围为以注视点为中心 1.5°视角内）。

2.2 结果与讨论

数据采用 SPSS23.0 分析，所有被试记忆探测任务正确率均高于 92%，并在负性情绪与中性情绪区组间差异不显著（97.83% vs. 97.74%, $t(23) = 0.15$，$p = 0.88$）。各实验条件下视觉搜索任务的平均正确率都比较高（均大于 97.83%），故不对视觉搜索正确率进行分析。

本研究中视觉搜索反应时和首次注视点数据只分析视觉搜索正确且反应时数据在平均数 3 个标准差以内的试次。反应时和干扰刺激所捕获的首次注视点百分率在记忆匹配条件与控制条件间的差异分别反映了反应阶段与视觉搜索早期阶段记忆匹配刺激对视觉注意的捕获效应。

另外，考虑到显著性检验中的非显著性结果并不能作为支持原假设的证据，研究中依据 Masson (2011)的方法对关键的阴性结果进行贝叶斯信息准则（Bayesian Information Criterion，BIC）分析，如果计算出的后验概率值 pBIC(H0｜D)越大，则越支持原假设，反之，如果 pBIC(H1｜D)越大，则越支持备择假设。根据 Masson (2011)及 Raftery (1995)的标准，pBIC(Hi｜D)的值为 0.75～0.95 时，表明证据较强；值为 0.95～0.99 时，表明证据很强；值大于 0.99

时，表明证据非常强。

2.2.1 反应时数据分析

对视觉搜索任务的平均反应时进行 2（区组类型：负性情绪区组/中性情绪区组）×2（匹配类型：记忆匹配条件/控制条件）的重复测量方差分析发现（如图 2），区组类型（$F(1, 23) = 0.92$，$p = 0.35$）和匹配类型（$F(1, 23) = 2.81$，$p = 0.11$）的主效应、以及两者之间的交互作用（$F(1, 23) = 1.32$，$p = 0.26$）都不显著，这表明在反应时指标上未发现任何记忆驱动的注意捕获效应。

2.2.2 眼动数据分析

因为首次注视点可以用来精确地反映视觉搜索早期阶段的刺激对视觉注意的捕获，故本研究通过比较记忆匹配条件与控制条件下干扰刺激所捕获的首次注视点的百分率及其持续时间，来测量工作记忆表征对视觉注意的捕获效应。首次注视点定义为视觉搜索刺激呈现后第一次眼跳后的第一个注视点所在的位置。在计算首次注视点时，以下两种情形的试次予以剔除(Zhang et al., 2018)：（1）搜索刺激呈现后注视点不在中央“+”区域（以屏幕中央为圆心，直径为 2°视角的圆形区域）；（2）第一次眼跳的时间小于 100ms 或大于 500ms。首次注视点百分率是以每种实验条件下落在干扰刺激兴趣区内的首次注视点数量占该实验条件有效试次的百分比。首次注视点持续时间是指从首次注视点进入兴趣区直到注视点离开该兴趣区的持续时间。

（1） 干扰刺激的首次注视点百分率

对落在干扰刺激兴趣区的首次注视点百分率进行 2（区组类型：负性情绪区组/中性情绪区组）×2（匹配类型：记忆匹配条件/控制条件）的重复测量方差分析发现（如图 2），区组类型的主效应不显著，$F(1, 23) = 1.16$，$p = 0.29$；匹配类型的主效应显著，$F(1, 23) = 21.96$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.49$，95%CI: [5.70%，14.71%]；两者的交互作用显著，$F(1, 23) = 6.75$，$p = 0.02$，$\eta_p^2 = 0.23$。

对交互作用进行简单效应检验发现，在两种区组中记忆匹配条件的首次注视点百分率皆显著大于控制条件（负性情绪区组：38.98% vs. 25.28%，$t(23) = 6.26$，$p < 0.001$，Cohen’s $d = 1.16$，为大效果量，95%CI: [9.18%，18.23%]；中性情绪区组：36.82% vs. 30.10%，$t(23) = 2.33$，$p = 0.03$，Cohen’s $d = 0.49$，为小效果量，95%CI: [0.74%，12.68%]），表现出了显著的注意捕获效应。对注意捕获效应的量值进行配对样本 t 检验，结果显示，负性情绪区组的注意捕获效应显著大于中性情绪区组（13.70% vs. 6.71%，$t(23) = 2.60$，$p = 0.02$，Cohen’s $d =$

0.55，为中效果量，95%CI: [1.42%，12.56%]）。另一方面，配对样本 t 检验的结果表明，控制条件下负性情绪区组中的干扰刺激所捕获的首次注视点百分率显著小于中性情绪区组（25.28% vs. 30.10%，$t(23) = –3.52$，$p = 0.002$，Cohen's $d = 0.47$，为小效果量，95%CI: [–7.66%，–1.99%]），但记忆匹配条件下两者无显著差异（38.98% vs. 36.82%，$t(23) = 0.99$，$p = 0.33$，Cohen's $d = 0.41$，pBIC(H0 | D) = 0.75）。简单效应检验的结果表明，虽然负性情绪区组表现出比中性情绪区组更大的注意捕获效应，但这种差异主要来源于控制条件，即当不与记忆刺激匹配时，中性情绪的干扰刺激比负性情绪的干扰刺激更能捕获首次注视点；而与记忆刺激匹配的负性情绪干扰刺激与中性情绪干扰刺激在首次注视点的捕获上并无显著差异。

（2） 干扰刺激的首次注视点持续时间

对落在干扰刺激兴趣区域的首次注视点在该兴趣区内的持续时间进行方差分析发现，区组类型的主效应边缘显著，$F(1, 23) = 4.15$，$p = 0.05$，$\eta_p^2 = 0.15$，95%CI: [–0.22，29.31]，负性情绪区组中干扰刺激的首次注视点持续时间大于中性情绪区组（262ms vs. 247ms）；匹配类型的主效应显著，$F(1, 23) = 4.66$，$p = 0.04$，$\eta_p^2 = 0.17$，95%CI: [–52.24，–1.10]，记忆匹配条件的干扰刺激兴趣区的首次注视点持续时间显著小于控制条件的干扰刺激（241ms vs. 268ms）；两者的交互作用不显著，$F(1, 23) = 0.26$，$p = 0.62$。该结果表明，注意被记忆匹配刺激捕获后，会更快地脱离该刺激。

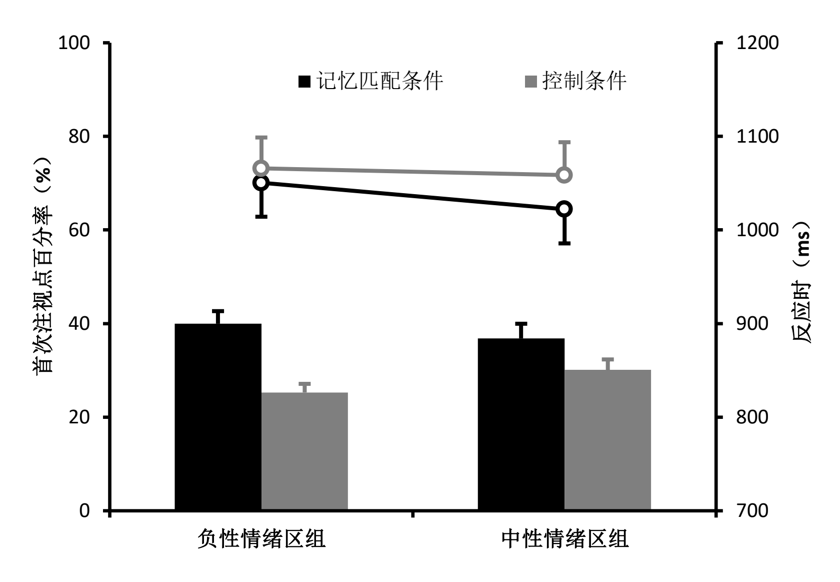


图 2 实验 1 视觉搜索任务的反应时和干扰刺激捕获首次注视点百分率

（注：图中条形图为首次注视点百分率，折线图为反应时，误差线为标准误。下同。）

实验 1 的结果表明，虽然在视觉搜索的反应时水平上并未发现任何记忆驱动的注意捕获效应，但眼动指标上却发现与记忆匹配的干扰刺激能捕获更多的首次注视点，表现出视觉

搜索早期的注意捕获效应。但有意思的是，进一步的分析发现，当干扰刺激不与工作记忆匹配时，负性情绪干扰刺激对注意的捕获能力显著小于中性情绪干扰刺激，而与工作记忆表征匹配时，该干扰刺激对注意的捕获不受情绪效价的影响。造成这种差异的原因可能来自于以下两个方面：（1）工作记忆表征对视觉注意的捕获不受情绪效价的调节；（2）干扰刺激对注意的捕获会受到同时呈现的与任务相关的靶子刺激的竞争。由于负性刺激会优先得到注意加工(Vuilleumier & Huang, 2009)，因此实验 1 中，负性情绪区组中的负性靶子刺激对负性干扰刺激的影响可能会比中性情绪区组中中性靶子对中性干扰刺激的影响更大，从而导致控制条件下负性情绪干扰刺激所捕获的首次注视点百分率反而显著小于中性情绪干扰刺激。同理，来自负性情绪靶子刺激的竞争亦可能会减弱记忆匹配条件下负性情绪干扰刺激对视觉注意的捕获能力。为了检验这两种可能的解释，实验 2 在实验 1 的基础上，将靶子刺激设定为中性情绪刺激，以恒定靶子的情绪类型对干扰刺激的影响。更为重要的是，由于靶子刺激一直为中性刺激，故当干扰刺激为记忆匹配刺激时，反映的是负性情绪刺激的工作记忆表征对视觉注意的捕获，而当干扰刺激为非记忆匹配刺激时，反映的是负性情绪刺激在知觉层面对视觉注意的捕获，因此，实验 2 可以用来比较两种不同层面负性情绪刺激对视觉注意的捕获效应。

3　实验 2

3.1 方法

3.1.1 被试

实验 2 最终招募在校大学生 19 名，其中 1 名女生因属于高特质焦虑与高抑郁个体而予以剔除，实际样本量为 18 人（男生 10 名，年龄 16～19 岁，平均年龄 17.44 ± 0.71 岁），考虑到实验 1 中交互作用的 η_p^2 为 0.23，该样本量足以检测到预期的效应。被试的状态焦虑、特质焦虑、抑郁得分的标准分数介于–1.06～1.78、–1.17～1.70、–1.23～1. 29 之间，均为右利手，身体健康，无精神病史，视力或矫正视力正常，无色盲或色弱，此前未参加过类似实验。实验前签署知情同意书，实验后给予一定报酬。

3.1.2 实验仪器、材料与程序

实验仪器、材料与实验 1 相同，程序与实验 1 相似，唯一不同的是两种区组类型的视觉搜索靶子均为中性刺激，即负性情绪区组中的搜索靶子亦随机选自于中性 “靶子刺激”

类别（相比于实验 1，实验 2 中性靶子刺激多重复呈现 1 倍试次[1]）。

3.2 结果与讨论

负性情绪刺激与中性情绪刺激在记忆探测任务中的平均正确率分别为 97.80%和 98.38%，两者差异不显著（$t(17) = –0.79$，$p = 0.44$）。各实验条件下视觉搜索任务的平均正确率都比较高（≥ 97.34%，$M = 98.47\%$），故不对视觉搜索正确率进行分析。

3.2.1 反应时数据分析

对反应时的方差分析结果发现（如图 3），匹配类型的主效应显著，$F(1, 17) = 10.38$，$p = 0.005$，$\eta_p^2 = 0.38$，95%CI: [–113.42，–23.65]，记忆匹配条件下的反应时显著小于控制条件（1005 ms 和 1073 ms），表现出与注意捕获效应相反的注意抑制效应（69 ms）。区组类型的主效应（$F(1, 17) = 0.06$，$p = 0.81$）及两者的交互作用（$F(1, 17) = 0.93$，$p = 0.35$）均不显著。

3.2.2 眼动数据分析

（1）干扰刺激的首次注视点百分率

对落在干扰刺激兴趣区域的首次注视点百分率的方差分析发现（如图 3），区组类型（$F(1, 17) = 8.38$，$p = 0.01$，$\eta_p^2 = 0.33$，95%CI: [1.28%，8.14%]）和匹配类型（$F(1, 17) = 25.96$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.60$，95%CI: [8.33%，20.11%]）的主效应以及两者之间的交互作用（$F(1, 17) = 4.69$，$p = 0.04$，$\eta_p^2 = 0.22$）都显著。

对交互作用进行简单效应检验发现，两种区组类型中记忆匹配条件下的首次注视点百分率均显著大于控制条件（负性情绪区组：50.50% vs. 40.27%，$t(17) = 3.17$，$p = 0.006$，Cohen's $d = 0.90$，为大效果量，95%CI: [3.41%，17.04%]；中性情绪区组：49.78% vs. 31.57%，$t(17) = 5.27$，$p < 0.001$，Cohen's $d = 1.44$，为大效果量，95%CI: [10.92%，25.50%]），都表现出显著的注意捕获效应。而且负性情绪区组的注意捕获效应（10.23%）显著小于中性区组（18.21%），$t(17) = 2.17$，$p = 0.04$，Cohen's $d = 0.56$，为中效果量，95%CI: [–15.76%，–0.21%]。另一方面，结果还发现，控制条件下负性情绪干扰刺激所捕获的首次注视点百分率显著大于中性情绪干扰刺激（40.27% vs. 31.57%，$t(17) = 3.57$，$p = 0.002$，Cohen's $d = 0.94$，为大效果量，95%CI: [3.55%，13.85%]），而记忆匹配条件下两者并无显著差异（50.50% vs. 49.78%，

---

[1] 对实验 2 中性情绪区组控制条件下的靶子刺激与干扰刺激首次注视点百分率进行配对样本 t 检验，结果发现靶子刺激与干扰刺激的首次注视点百分率差异不显著（30.77% vs. 31.57%，$t(17) = 0.29$，$p = 0.77$），表明靶子刺激重复次数的增倍并未影响靶子刺激的早期注意捕获。

$t(17) = 0.29$，$p = 0.78$，Cohen's $d = 0.14$，pBIC(H0│D) = 0.82）。上述结果表明，虽然中性情绪区组比负性情绪区组表现出更大的注意捕获效应，但这种差异主要来源于控制条件而非记忆匹配条件，即当不与记忆刺激匹配时，负性情绪的干扰刺激比中性情绪的干扰刺激更能捕获首次注视点（即知觉层面负性情绪刺激对视觉注意的捕获效应），而与记忆刺激匹配时，两种情绪区组类型的干扰刺激对首次注视点的捕获上并无显著差异。

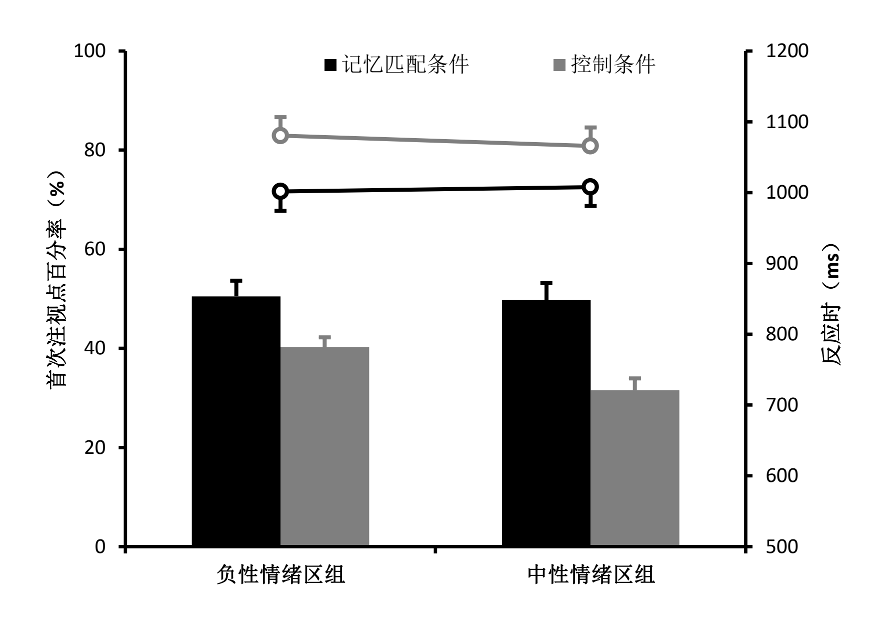


图 3 实验 2 视觉搜索任务的反应时和干扰刺激捕获首次注视点百分率

（2） 干扰刺激的首次注视点持续时间

对落在干扰刺激兴趣区域的首次注视点持续时间进行方差分析的结果发现，匹配类型的主效应显著，$F(1, 17) = 31.50$，$p < 0.001$，$\eta_p^2 = 0.65$，95%CI: [–97.77，–42.54]，记忆匹配条件下的首次注视点持续时间显著小于控制条件（200 ms vs. 269 ms），这表明被试会快速脱离与记忆刺激匹配的干扰刺激；而区组类型的主效应（$F(1, 17) = 0.007$，$p = 0.94$）及两者的交互作用（$F(1, 17) = 0.74$，$p = 0.40$）均不显著。

综合反应时与首次注视点的结果来看，在视觉搜索早期阶段，与实验 1 的结果一样，不管是中性情绪刺激还是负性情绪刺激，都出现了显著的记忆驱动的注意捕获效应，但在反应阶段，这种注意捕获效应被反转为注意抑制效应，表明工作记忆表征只作为视觉搜索任务的干扰刺激时，仍然会自动化地捕获视觉注意，但随后由于注意控制的作用，注意会快速脱离该干扰刺激，从而可能导致在反应时指标上表现出注意抑制效应。另外实验 2 消除靶子刺激情绪效价的影响后，结果进一步表明，情绪效价只调节不与记忆刺激匹配的干扰刺激对注意的捕获（即基于知觉层面的注意偏向），这与以往经典的结果一致，即负性情绪刺激更能捕

获视觉注意，但在工作记忆层面，工作记忆表征对注意的捕获则没有发现情绪效价的调节作用（pBIC(H0│D)值均大于 0.75，为接受原假设提供了较强的证据(Masson, 2011)）。

实验 2 发现控制条件下负性干扰刺激所捕获的首次注视点百分率显著大于中性干扰刺激，这与实验 1 的结果恰好相反。这一差异证实了靶子刺激的情绪效价对干扰刺激的影响，即当靶子刺激为中性情绪刺激时（实验 2），由于负性情绪刺激加工具有优先性，故负性情绪干扰刺激表现出比中性干扰刺激更强的注意捕获能力，而当靶子刺激为负性情绪刺激时（实验 1），靶子刺激会削弱与之竞争的负性情绪干扰刺激对视觉注意的捕获能力。此外，结果发现实验 2 的中性情绪区组程序虽然与实验 1 相同，但其注意捕获效应要显著大于实验 1（18.21% vs. 6.71%，$t(40) = 2.57$，$p = 0.01$，Cohen’s $d = 0.80$）。进一步分析发现，实验 2 中匹配条件的首次注视点百分率要显著大于实验 1（49.78% vs. 36.82%，$t(40) = 2.77$，$p = 0.009$，Cohen’s $d = 0.88$），但控制条件下两者没有显著差异（30.10% vs. 31.57%，$t(40) = 0.45$，$p = 0.66$）。这一结果将在总讨论中予以分析。

4 总讨论

本研究主要探讨无关工作记忆表征的负性情绪信息对视觉注意捕获的影响，结果发现（1）当视觉搜索的干扰刺激不与工作记忆表征匹配时，与以往的研究一致(Nummenmaa et al., 2009; Pourtois et al., 2006)，负性情绪干扰刺激比中性情绪干扰刺激具有更强的注意捕获能力；（2）当视觉搜索的干扰刺激与工作记忆表征匹配时，其比非记忆匹配的干扰刺激具有更强的注意捕获能力，表现出经典的记忆驱动的注意捕获效应；（3）记忆驱动的注意捕获效应不受工作记忆表征情绪效价的影响，即负性情绪刺激与中性情绪刺激的工作记忆表征对注意的捕获效应没有出现显著性差异；（4）当与工作记忆表征匹配的干扰刺激捕获首次注视点后，认知控制会促使注意更快地脱离该干扰刺激，从而在反应时指标上表现出注意捕获效应的消失甚至反转。

首先，与负性情绪会增加记忆驱动的注意捕获效应的预期不一致的是，研究结果发现记忆驱动的注意捕获效应不受工作记忆表征情绪效价的影响，而与之不同的是，控制条件下的负性情绪干扰刺激比中性情绪干扰刺激捕获更多首次注视点。此结果表明，物理刺激的负性情绪信息能在知觉层面自下而上地增强该刺激对注意的捕获能力，而工作记忆表征的情绪信息并不影响其对视觉注意的捕获能力。如前言所述，虽然 Grecucci 等(2010)的研究也探讨了工作记忆表征的情绪信息对视觉注意选择的影响，但他们并未关注和比较不同情绪效价的工作记忆表征对注意的捕获是否具有差异。根据本研究的结果，Grecucci 等(2010)所发现的工

作记忆表征的情绪信息对视觉注意的捕获，应该主要来自于工作记忆表征本身，而非其所携带的情绪信息。与此结论一致的是，通过比较 Grecucci 等(2010)与 Soto 等(2007)两项脑成像研究发现，虽然两者采用的记忆材料不同，前者为具有情绪信息的情绪词，后者为中性的彩色几何图形，但他们所获得的与工作记忆表征捕获注意相关的神经网络(即“额叶－枕核”神经网络，fronto-pulvinar network）却相同，这表明工作记忆表征的情绪效价不影响该工作记忆表征与视觉注意交互的神经通路。

如前言所述，研究者们采用情绪自动化加工理论、注意的偏向竞争理论与注意选择的负载理论来解释知觉层面负性情绪刺激所引起的情绪注意，显然这些理论并不能简单地适用于工作记忆层面情绪信息对视觉注意的影响。虽然研究者(如 Soto et al., 2008)也一直用注意的偏向竞争理论来解释记忆驱动的注意捕获，即工作记忆表征自上而下的神经激活会使与之匹配的刺激获得竞争优势，但本研究结果提示工作记忆表征的情绪信息并不会随着这种自上而下的神经通路加强与之匹配的知觉刺激。为什么工作记忆层面上没有出现知觉层面所表现出的注意的负性情绪偏向效应呢？近年来，不少研究者采用突破连续闪烁抑制任务（breaking continuous flash suppression task，b-CFS）发现无意识状态下负性情绪信息，如愤怒面孔和体态(Gray et al., 2013; Zhan et al., 2015)、威胁性信息(Gayet et al., 2016)、厌恶刺激(张秀玲等, 2018)，都能比中性刺激更快地突破抑制进入意识。Gayet 等(2016)认为负性情绪信息能更快地进入意识是源于负性情绪增强了刺激的显著性，是负性情绪刺激能在视觉搜索任务中快速捕获注意的原因。工作记忆作为当前意识加工的内容，工作记忆表征的情绪信息已经存在于意识层面，无法通过快速进入意识的优势来加强其对视觉注意的捕获能力，这可能是本研究中没有出现情绪效价影响记忆驱动的注意捕获的主要原因。

其次，研究结果中出现了首次注视点百分率与反应时结果的分离，即在首次注视点上观察到了稳定的注意捕获效应，但这种早期阶段的注意捕获效应在反应阶段却消失（实验 1）甚至被反转为注意抑制效应（实验 2）。这一结果与最近采用眼动追踪的研究结果(Bahle et al., 2018; 张豹等, 2016)一致，都反映了当记忆匹配刺激只作为干扰刺激时，认知控制会在它捕获注意之后起作用，促使注意快速偏离该刺激。本研究两个实验对干扰刺激的首次注视点持续时间的分析都很好地支持了这一解释，即首次注视点在记忆匹配的干扰刺激上的持续时间显著小于一般干扰刺激，显示出注意的快速脱离。这一结果与 Moher 和 Egeth(2012)提出的“搜索与摧毁”（search and destroy）的抑制理论以及信号抑制理论(Gaspelin & Luck, 2018; Sawaki & Luck, 2011)一致。前者理论认为抑制需要经过两阶段过程：注意首先是自下而上引导到“要求被忽略”的刺激，然后再通过自上而下的认知控制来抑制这个刺激。后者理论认

为注意捕获会被自上而下的抑制机制阻止，当抑制失败时，注意才会被记忆匹配的干扰刺激捕获，因此，注意捕获或注意抑制效应可以看作是抑制失败与抑制成功相互权衡的结果。两个理论都强调了认知控制对记忆匹配的干扰刺激的抑制，但前者主要强调先捕获再抑制的两个阶段（同见 Theeuwes (2010)的视觉注意选择过程的两阶段模型），而后者强调抑制是在视觉搜索启动之前形成的。从本研究的眼动结果来看，注意在被记忆匹配刺激捕获之后快速脱离，更符合"搜索与摧毁"的抑制理论，但同时亦不能排除被试在视觉搜索启动之前亦已形成对工作记忆表征的抑制，被首次注视点捕获的试次可能只是抑制失败的结果。但比较清晰的是，即使抑制失败导致记忆匹配的干扰刺激捕获视觉注意了，抑制机制还是会起作用，促使注意快速脱离该刺激。

最后，本研究的反应时结果还表明，在认知控制抑制记忆匹配的干扰刺激的过程会受当前主任务（即靶子刺激）情绪属性的调节。具体表现为：在负性情绪区组中，当视觉搜索任务的靶子刺激为负性情绪刺激时，视觉搜索早期阶段所观察到的注意捕获效应在反应阶段被消除，但当在实验 2 中将视觉搜索靶子刺激改为中性情绪刺激时，早期的注意捕获效应在反应阶段被反转为注意抑制效应。这可能是由于实验 2 的视觉搜索任务中改用中性情绪的靶子刺激后，强化了被试对作为干扰刺激的负性情绪刺激的抑制动机水平。例如 Vogt 等(2017)考察了威胁信号与工具性安全信号（instrumental safety signals，通过强化使该信号有助于逃避威胁刺激）的注意偏向，结果发现当两种信号同时出现时，被试不管在点探测任务还是在 Go-Nogo 任务中，其注意都倾向于偏向工具性安全信号。Vogt 等(2017)认为是面对威胁时，达到安全的动机会引导注意分配。因此，当实验 2 的靶子刺激改为安全的中性情绪刺激，可能增强了被试抑制负性干扰刺激的动机水平，或诱发一个相对安全的情绪氛围从而有助于个体保持对负性情绪刺激的抑制状态。动机水平调节记忆驱动的注意捕获效应已得到一些研究结果的支持，例如 Carlisle 和 Woodman(2011a, 2011b)及胡艳梅等(2013)通过操纵记忆匹配的干扰刺激的比例，来调节抑制该干扰刺激的动机水平，结果发现其比例越高，注意更容易偏离该干扰刺激。另外，有趣的是，研究还发现当负性情绪区组的搜索靶子改为中性刺激时，即使两个实验的中性情绪区组任务完全相同，但实验 2 中记忆匹配刺激对注意的捕获显著大于实验 1，而控制条件却没有差异。这一结果表明虽然实验采用 ABBA 的方法来控制中性情绪区组与负性情绪区组之间情绪的相互影响，但这种相互影响依然存在，即靶子刺激的情绪属性所诱发的情绪氛围对中性情绪区组中的记忆驱动的注意捕获作用也有影响。通常工作记忆用来存储与当前任务相关的信息，例如视觉搜索的靶子模板，因此注意会优先选择与工作记忆内容一致的信息以优化视觉搜索效率。Soto 等(2008)认为这体现了注意从工作记忆

“获益”（benefit）的自动化模式，即使记忆匹配刺激在视觉搜索中作为干扰刺激，这种“获益”模式依然会驱使注意偏向该刺激。有可能在相对安全的情绪氛围且工作记忆内容为安全的中性刺激时，被试的注意更倾向于从工作记忆中获益，从而表现出更强的注意捕获效应。今后的研究需对此推测进行进一步验证。

本研究尽管从闯入记忆角度切入来探讨负性情绪工作记忆表征的视觉注意捕获，但结果并未发现情绪效价对记忆驱动的注意捕获效应的影响，但考虑到本研究采用的是健康被试样本，其结论不能直接推广至具有特质情绪障碍被试群体（如抑郁症患者、PTSD 个体或焦虑个体），今后有必要以这些群体为研究对象予以进一步研究。

5 结论

综上所述，本研究结果发现：（1）在早期注意选择阶段，记忆驱动的注意捕获效应不受工作记忆表征情绪效价的影响；（2）认知控制会在早期注意捕获之后促使注意快速脱离记忆匹配的干扰刺激，其作用效果受靶子刺激情绪效价的调节。

参考文献

Attar, C. H., Müller, M. M. (2012). Selective attention to task-irrelevant emotional distractors is unaffected by the perceptual load associated with a foreground task. *PLoS ONE*, *7*(5), e37186.

Bahle, B., Beck, V. M., Hollingworth, A. (2018). The architecture of interaction between visual working memory and visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *44*(7), 992–1011.

Bai, L., Ma, H., Huang, Y. X., & Luo, Y. J. (2005). The development of native Chinese affective picture system: A pretest in 46 college students. *Chinese Mental Health Journal*,*19*(11), 719–722. [白露，马慧，黄宇霞，罗跃嘉. (2005). 中国情绪图片系统的编制——在 46 名中国大学生中的试用. *中国心理卫生杂志*, *19*(11), 719–722.]

Baluch, F., Itti, L. (2011). Mechanisms of top-down attention. *Trends in Neurosciences*, *34*(4), 210–224.

Borg, C., Leroy, N., Favre, E., Laurent, B., Thomas-Antérion, C. (2011). How emotional pictures influence visuospatial binding in short-term memory in ageing and Alzheimer’s disease? *Brain and Cognition*, *76*(1), 20–25.

Carlisle, N. B., Woodman, G. F. (2011a). Automatic and strategic effects in the guidance of attention by working memory representations. *Acta Psychologica*, *137*(2), 217–225.

Carlisle, N. B., Woodman, G. F. (2011b). When memory is not enough: Electrophysiological evidence for goal-dependent use of working memory representations in guiding visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*(10), 2650–2664.

Catarino, A., Kuepper, C. S., Werner-Seidler, A., Dalgleish, T., Anderson, M. C. (2015). Failing to forget: Inhibitory-control deficits compromise memory suppression in posttraumatic stress disorder. *Psychological Science*, *26*(5), 604–616.

Desimone, R., Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review*

of Neuroscience, *18*(1), 193–222.

Dowd, E. W., Kiyonaga, A., Egner, T., Mitroff, S. R. (2015). Attentional guidance by working memory differs by paradigm: An individual-differences approach. *Attention Perception & Psychophysics*, *77*(3), 704–712.

Erthal, F. S., de Oliveira, L., Mocaiber, I., Pereira, M. G., Machado-Pinheiro, W., Volchan, E., et al. (2005). Load-dependent modulation of affective picture processing. *Cognitive Affective & Behavioral Neuroscience*, *5*(4), 388–395.

Fawcett, J. M., Benoit, R. G., Gagnepain, P., Salman, A., Bartholdy, S., Bradley, C., et al. (2015). The origins of repetitive thought in rumination: Separating cognitive style from deficits in inhibitory control over memory. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *47*, 1–8.

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191.

Garrison, K. E., Schmeichel, B. J. (2019). Effects of emotional content on working memory capacity. *Cognition and Emotion*, *33*(2), 370–377.

Gaspelin, N., Luck, S. J. (2018). The role of inhibition in avoiding distraction by salient stimuli. *Trends in Cognitive Sciences*, *22*(1), 79–92.

Gayet, S., Paffen, C. L. E., Belopolsky, A. V., Theeuwes, J., Van der Stigchel, S. (2016). Visual input signaling threat gains preferential access to awareness in a breaking continuous flash suppression paradigm. *Cognition*, *149*, 77–83.

Gray, K. L. H., Adams, W. J., Hedger, N., Newton, K. E., Garner, M. (2013). Faces and awareness: Low-level, not emotional factors determine perceptual dominance. *Emotion*, *13*(3), 537–544.

Grecucci, A., Soto, D., Rumiati, R. I., Humphreys, G. W., Rotshtein, P. (2010). The interrelations between verbal working memory and visual selection of emotional faces. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*(6), 1189–1200.

Gupta, R., Hur, Y., Lavie, N. (2016). Distracted by pleasure: Effects of positive versus negative valence on emotional capture under load. *Emotion*, *16*(3), 328–337.

Han, S. W., Kim, M. (2009). Do the contents of working memory capture attention? Yes, but cognitive control matters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *35*(5), 1292–1302.

Hu, Y. M., Zhang, M., Xu, Z., & Li, B. Q. (2013). Guidance of working memory on attention: The effects of inhibition incentive. *Acta Psychologica Sinica*, *45*(2), 127–138.

[胡艳梅, 张明, 徐展, 李毕琴. (2013). 客体工作记忆对注意的导向作用:抑制动机的影响. *心理学报*, *45*(2), 127–138.]

Huang, J., Zhou, R., Hu, S. (2013). Effects on automatic attention due to exposure to pictures of emotional faces while performing Chinese word judgment tasks. *PLoS ONE*, *8*(10), e75386.

Joormann, J., Hertel, P. T., LeMoult, J., Gotlib, I. H. (2009). Training forgetting of negative material in depression. *Journal of Abnormal Psychology*, *118*(1), 34–43.

Kvavilashvili, L. (2014). Solving the mystery of intrusive flashbacks in posttraumatic stress disorder: Comment on Brewin (2014). *Psychological Bulletin*, *140*(1), 98–104.

Lang, P. J., Bradley, M. M., Cuthbert, B. N. (2008). *International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical Report A-8*: University of Florida,Gainesville, FL.

Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 21*(3), 451–468.

Lavie, N. (2010). Attention, distraction, and cognitive control under load. *Current Directions in Psychological Science, 19*(3), 143–148.

Marzi, T., Regina, A., Righi, S. (2014). Emotions shape memory suppression in trait anxiety. *Frontiers in Psychology, 4*, 1–10.

Masson, M. E. J. (2011). A tutorial on a practical Bayesian alternative to null-hypothesis significance testing. Behavior Research Methods, 43, 679–690.

McHugo, M., Olatunji, B. O., Zald, D. H. (2013). The emotional attentional blink: What we know so far. *Frontiers in Human Neuroscience, 7*(3), 151.

Moher, J., Egeth, H. E. (2012). The ignoring paradox: Cueing distractor features leads first to selection, then to inhibition of to-be-ignored items. *Attention, Perception, & Psychophysics, 74*(8), 1590–1605.

Moriya, J., Koster, E. H. W., De Raedt, R. (2014). The influence of working memory on visual search for emotional facial expressions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 40*(5), 1874–1890.

Nasrallah, M., Carmel, D., Lavie, N. (2009). Murder, she wrote: Enhanced sensitivity to negative word valence. *Emotion, 9*(5), 609–618.

Nummenmaa, L., Hyönä, J., Calvo, M. G. (2009). Emotional scene content drives the saccade generation system reflexively. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 35*(2), 305–323.

Oei, N. Y. L., Veer, I. M., Wolf, O. T., Spinhoven, P., Rombouts, S. A. R. B., Elzinga, B. M. (2012). Stress shifts brain activation towards ventral 'affective' areas during emotional distraction. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 7*(4), 403–412.

Okon-Singer, H., Tzelgov, J., Henik, A. (2007). Distinguishing between automaticity and attention in the processing of emotionally significant stimuli. *Emotion, 7*(1), 147–157.

Olivers, C. N. L., Meijer, F., Theeuwes, J. (2006). Feature-based memory-driven attentional capture: Visual working memory content affects visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 32*(5), 1243–1265.

Padmala, S., Sambuco, N., Codispoti, M., Pessoa, L. (2018). Attentional capture by simultaneous pleasant and unpleasant emotional distractors. *Emotion*, Advance online publication.

Pan, Y. (2010). Content-based working memory-driven visual attention. *Advances in Psychological Science, 18* (2), 210–219.

[潘毅. (2010). 基于工作记忆内容的视觉注意. *心理科学进展, 18*(2), 210–219.]

Pessoa, L., McKenna, M., Gutierrez, E., Ungerleider, L. G. (2002). Neural processing of emotional faces requires attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 99*(17), 11458–11463.

Pourtois, G., Schwartz, S., Seghier, M. L., Lazeyras, F., Vuilleumier, P. (2006). Neural systems for orienting attention to the location of threat signals: An event-related fMRI study. *Neuroimage, 31*(2), 920–933.

Raftery, A. (1995). Bayesian model selection in social research. In M. P. V. (Ed.), *Sociological Methodology* (pp. 111–196). Blackwell.: Cambridge.

Sawaki, R., Luck, S. J. (2011). Active suppression of distractors that match the contents of visual working memory. *Visual Cognition, 19*(7), 956–972.

Soto, D., Heinke, D., Humphreys, G. W., Blanco, M. J. (2005). Early, involuntary top-down guidance of attention from working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 31*(2), 248–261.

Soto, D., Hodsoll, J., Rotshtein, P., Humphreys, G. W. (2008). Automatic guidance of attention from working memory. *Trends in Cognitive Sciences, 12*(9), 342–348.

Soto, D., Humphreys, G. W., Rotshtein, P. (2007). Dissociating the neural mechanisms of memory-based guidance of visual selection. *Proceedings of the National Academy of the United States of America, 104*(43), 17186–17191.

Sutherland, M. R., McQuiggan, D. A., Ryan, J. D., Mather, M. (2017). Perceptual salience does not influence emotional arousal's impairing effects on top-down attention. *Emotion, 17*(4), 700–706.

Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica, 135*(2), 77–99.

Theeuwes, J. (2012). Automatic control of visual selection. In M. D. Dodd & J. H. Flowers (Eds.), *Influence of Attention, Learning, and Motivation on Visual Search* (pp. 23–62). New York: Springer.

van Schie, K., Anderson, M. C. (2017). Successfully controlling intrusive memories is harder when control must be sustained. *Memory, 25*(9), 1201–1216.

Vogt, J., Koster, E. H. W., De Houwer, J. (2017). Safety first: Instrumentality for reaching safety determines attention allocation under threat. *Emotion, 17*(3), 528–537.

Vuilleumier, P., Huang, Y. (2009). Emotional attention: Uncovering the mechanisms of affective biases in perception. *Current Directions in Psychological Science, 18*(3), 148–152.

Wang, X. D., Wang, X. L., & Ma, H.(Eds.) (1999). *Rating scales for mental health*. Beijing: Chinese Mental Health Journal Press.

[汪向东, 王希林, 马弘. (1999). *心理卫生评定量表手册（增订版）*. 北京: 中国心理卫生杂志社.]

Woodman, G. F., Luck, S. J. (2007). Do the contents of visual working memory automatically influence attentional selection during visual search? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 33*(2), 363–377.

Yang, W. H., Wu, D. J., & Peng, F. (2012). Application of Chinese version of Beck depression inventory-II to Chinese first-year college students. *Chinese Journal of Clinical Psychology, 20*(6), 762–764.

[杨文辉, 吴多进, 彭芳. (2012). 贝克抑郁量表第2版中文版在大一学生中的试用. *中国临床心理学杂志*, 20(6), 762–764.]

Yuan, J. J., Long, Q. S., Ding, N. X., Lou, Y. X., Liu, Y. Y., & Yang, J. M. (2015). Suppression dampens unpleasant emotion faster than reappraisal: Neural dynamics in a Chinese sample. *Science China: Life Sciences, 58*(5), 480–491.

[袁加锦, 龙泉杉, 丁南翔, 娄熠雪, 刘莹莹, 杨洁敏. (2014). 负性情绪调节的效率:中国文化背景下认知重评与表达抑制的对比. *中国科学:生命科学*, *44*(6), 602–613.]

Zhang, B., Hu, C. L., Chen, Y. Z., Miao S. M., & Huang, S. (2017).The modulation of working memory load and perceptual load on attentional guidance from representations of working memory. *Acta Psychologica Sinica, 49* (8), 1009–1021.

[张豹, 胡岑楼, 陈颜璋, 缪素媚, 黄赛. (2017). 工作记忆与知觉负载对工作记忆表征引导注意的调节. *心理学报*, *49*(8), 1009–1021.]

Zhang, B., Hu, C. L., & Huang, S. (2016). What do eye movements reveal about the role of cognitive

control in attention guidance from working memory representation. *Acta Psychologica Sinica*, *48* (9), 1105–1118.
[张豹, 胡岑楼, 黄赛. (2016). 认知控制在工作记忆表征引导注意中的作用:来自眼动的证据. *心理学报*, *48*(9), 1105–1118.]
Zhang, B., Huang, S. (2013). Mechanisms underlying the attentional guidance form working memory representations. *Advances in Psychological Science*, *21* (9), 1578–1584.
[张豹, 黄赛. (2013). 工作记忆表征对视觉注意的引导机制. *心理科学进展*, *21*(9), 1578–1584.]
Zhan, M., Hortensius, R., de Gelder, B. (2015). The body as a tool for anger awareness—differential effects of angry facial and bodily expressions on suppression from awareness. *PLoS ONE*, *10*(10), e139768.
Zhang, B., Liu, S. H., Doro, M., Galfano, G. (2018). Attentional guidance from multiple working memory representations: Evidence from eye movements. *Scientific Reports*, *8*(1), 13876.
Zhang, X. L., Pang, Z. Y., Jiang, Y. P., Zhang, M., Jiang, Y. (2018). Access to awareness is improved by affective learning. *Acta Psychologica Sinica*, 50(3), 253–259.
[张秀玲, 庞兆阳, 姜云鹏, 张明, 蒋毅. (2018). 情绪学习促进无意识信息进入意识. *心理学报*, *50*(3), 253–259.]

Can Negative Emotion of Task-irrelevant Working Memory Representation Affect its Attentional Capture? A study of eye movements

HUANG Yuesheng[1]; ZHANG Bao[2]; FAN Xinhua[1]; HUANG Jie[1]

([1] School of Educational Science/ Hunan Key Laboratory of Children's Psychological Development and Brain Cognitive Science, Hunan First Normal University, Changsha 410205, China)

([2] School of Education/The Center for Mind and Brain, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

Abstract

Task-irrelevant negative emotional stimuli can divert attention away from the current task, thus resulting in lower performance on the current task. This attentional bias to task-irrelevant emotional stimuli can be explained by automatic processing of emotional information, attentional biased competition and perceptual load. Despite a large number of studies on the attentional capture by task-irrelevant representations in working memory, there have been few, if any, studies specifically examining attentional capture by representations of negative emotional stimuli in working memory. Such knowledge can help us better understand the mechanism of visual attentional capture of unwanted memory (such as intrusive memory), and it also has important clinical implications for individuals with traumatic experiences or emotional disorders.

In this study, eye tracking technique was used to investigate the effects of the representations of task-irrelevant negative emotional stimuli on attentional selection. Specifically, a dual-task paradigm consisting of a working memory task and a visual search task was performed in this study, where emotional pictures were used as stimuli and the first fixation point and reaction time were used as dependent variables. In experiment 1, we investigated the effects of the valence (negative vs. neutral) of task-irrelevant emotional stimuli on attentional capture. In experiment 2, neutral emotional stimuli were used as the target stimuli in order to eliminate the effect of emotional valence, and the difference in attentional capture induced by negative emotional stimuli in both perception and working memory were compared.

The results show that (1) negative emotional distracting stimuli elicit stronger attentional capture than neutral ones when there is a mismatch between the distracting stimuli and the representations; (2) distracting stimuli that match the representations in working memory elicit stronger attentional capture compared to those that do not match the representations, indicating memory-driven attentional capture; (3) the memory-driven attentional capture is not affected by the valence of task-irrelevant emotional stimuli in working memory; and (4) after the capture of the first fixation point by the distracting stimuli that match the representations, cognitive control allows for disengagement of attention from the distracting stimuli as indicated by the dwell time of the first fixation point, so that the attentional capture effect can be suppressed and even reversed as indicated by the reaction time.

It can be concluded that (1) in the early attentional selection stage, memory-driven attentional capture is not affected by the valence of task-irrelevant emotional stimuli in working memory; and (2) After the early attentional capture, cognitive control prompts attention to quickly disengage from the distracting stimuli that match the working memory representations, and its effect is affected by the valence of emotional stimuli.

Key words: cognitive control; emotional working memory; attentional capture effect; attentional suppression effect; eye tracking technique